نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 4، زمستان 1398، ص 1356-1343

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1343-1356

توسعه منحنی رقیق شدن نیتروژن بحرانی بر مبنای ماده خشک برگ در دو رقم کلزای بهاره (*Brassica napus* L.)

سید عطااله سیادت[1*] و ابوالفضل درخشان[2]

تاریخ دریافت: 1397/03/01
تاریخ پذیرش: 1397/07/16

سیادت، س.ع. و درخشان، ا. 1398. توسعه منحنی رقیق شدن نیتروژن بحرانی بر مبنای ماده خشک برگ در دو رقم کلزای بهاره (*Brassica napus* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، 11 (4): 1356-1343.

چکیده

بهبود رشد گیاه زراعی با کاربرد کود نیتروژن می‌تواند به‌میزان قابل توجهی عملکرد محصول را افزایش و بازده اقتصادی را بهبود بخشد. با این‌حال، استفاده بیش از حد از کود نیتروژن در نظام‌های کشت فشرده منجر به کاهش کارایی زراعی مصرف نیتروژن، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب و خاک شده است. غلظت نیتروژن بحرانی (N_c) حداقل نیتروژن مورد نیاز برای حداکثر رشد گیاه است و می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای مدیریت دقیق نیتروژن در طی فصل رشد استفاده شود. مطالعه فعلی با هدف تعیین منحنی رقیق شدن غلظت نیتروژن بحرانی بر مبنای ماده خشک برگ (LDM) در کلزای بهاره (*Brassica napus* L.) انجام شد. برای این منظور، یک آزمایش مزرعه‌ای با هفت سطح مصرف صفر، 50، 100، 150، 200، 250 و 300 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار انجام گرفت و ماده خشک و غلظت نیتروژن برگ دو رقم کلزای بهاره در طی فصل رشد اندازه‌گیری شد. منحنی رقیق شدن غلظت نیتروژن بحرانی برگ کلزای بهاره با رابطه $N_c=5.08LDM^{-0.06}$ توصیف شد. شاخص تغذیه نیتروژنی (NNI) بسته به‌میزان مصرف نیتروژن در رقم دلگان از 0/72 تا 1/14 و در رقم هایولا 401 از 0/53 تا 1/15 متغیر بود. کمبود نیتروژن تجمعی (N_{and}) در رقم دلگان بین 11/61- و 107/09 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و در رقم هایولا 401 بین 24/22- و 129/64 کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعیین شد. همبستگی مثبت معنی‌داری بین اختلاف میزان مصرف نیتروژن (ΔN) با تغییرات شاخص تغذیه نیتروژنی (ΔNNI) و کمبود نیتروژن تجمعی (ΔN_{and}) وجود داشت. به‌طور کلی، منحنی رقیق شدن غلظت نیتروژن بحرانی و شاخص تغذیه نیتروژنی و کمبود نیتروژن تجمعی مشتق از آن به‌خوبی وضعیت محدودیت و عدم محدودیت تغذیه نیتروژنی را در دو رقم کلزای بهاره مشخص کرد و می‌تواند به‌عنوان شاخص قابل‌اطمینانی از وضعیت نیتروژن گیاه زراعی در طی فصل رشد استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی مصرف نیتروژن، شاخص تغذیه نیتروژنی، کمبود نیتروژن، مدل‌سازی، مدیریت دقیق نیتروژن

مقدمه

کاهش مداوم زمین‌های مساعد در دسترس برای کشاورزی اهمیت به حداکثر رساندن عملکرد گیاه زراعی در واحد سطح را افزایش داده است. بهبود رشد گیاه زراعی با کاربرد کود نیتروژن (N) می‌تواند به‌میزان قابل‌توجهی عملکرد محصول را افزایش و بازده اقتصادی را بهبود بخشد. با این‌حال، استفاده بیش از حد از کود N در نظام‌های کشت فشرده منجر به کاهش کارایی زراعی مصرف N، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب و خاک شده است (Miranzadeh et al., 2010; Zhao et al., 2014; Weymann et al., 2016). استفاده بیش از حد کود N نه تنها درآمد کشاورزان را با افزایش هزینه‌های تولید کاهش می‌دهد، بلکه آب‌های زیرزمینی منطقه از طریق آبشویی به نیترات و نیتریت آلوده می‌شود. غلظت

1 و 2- به‌ترتیب استاد و دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: seyedatasiadat@asnrukh.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.72921

نیترات موجود در آب آشامیدنی در بسیاری از نقاط کشور بیش‌تر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (11/3 میلی‌گرم نیترات در لیتر) است (Miranzadeh et al., 2010). بنابراین، بهینه‌سازی میزان N مورد نیاز در هر مرحله از چرخه رشد گیاه زراعی برای افزایش عملکرد دانه، بهبود کارایی زراعی مصرف N و پایداری محیط زیست بحرانی است (Ata-Ul-Karim et al., 2017a).

روش‌های متعددی مانند اندازه‌گیری‌های کلروفیل‌متر (Ata-Ul-Karim et al., 2016)، پایش پویای N در اطراف ریشه‌های گیاه (Xu et al., 2012)، سنجش از دور (Schlemmer et al., 2013) و اندازه‌گیری مستقیم غلظت N در گیاه (Zhao et al., 2017) برای تعیین وضعیت N گیاه زراعی استفاده شده است. اندازه‌گیری مستقیم غلظت N در گیاه برای تشخیص وضعیت N بر مبنای تئوری رقیق شدن نیتروژن بحرانی[1] (N_c) یا حداقل غلظت N مورد نیاز برای دستیابی به رشد حداکثر استوار است (Greenwood et al., 1990). منحنی رقیق شدن N_c شاخصی از وضعیت N گیاه زراعی است که می‌تواند با استفاده از رابطه توانی منفی $N_c = a_c DM^{-b}$ توصیف گردد. در این رابطه، a_c: غلظت N_c برای ماده خشک گیاهی (DM) معادل با یک تن در هکتار و b: کاهش غلظت N_c در پاسخ به رشد گیاه را نشان می‌دهد.

منحنی رقیق شدن N_c بر مبنای DM گیاهی در چندین گیاه زراعی ازجمله گندم زمستانه (*Triticum aestivum* L.) (Yue et al., 2012)، ذرت (*Zea mays* L.) (Ziadi et al., 2008)، برنج (*Oryza sativa* L.) (Ata-Ul-Karim et al., 2013) و جو زمستانه (*Hordeum* vulgare L.) (Zhao, 2014) تعیین شده است. گزارش‌های قبلی تفاوت منحنی N_c بین و درون گونه‌های گیاهی (Justes et al., 1994) و نیز بین سایت‌های آزمایشی (Greenwood et al., 1990) را تأیید کرده است. رویکرد مبتنی بر کل DM گیاهی بینش کافی در مورد عوامل مؤثر بر جذب N در گیاهان زراعی ارائه می‌دهد (Ata-Ul-Karim et al., 2017b). با این‌حال، تغییرات مرتبط با درجه بالای توزیع فضایی وضعیت N در طول فصل رشد در مزرعه انطباق رویکرد مبتنی بر DM گیاهی با شیوه‌های کشاورزی مکانیزه مدرن را محدود می‌سازد (Fitzgerald et al., 2010). علاوه‌براین، پژوهش‌های قبلی نشان داده است که DM گیاهی همیشه نمی‌تواند در مناسب‌ترین سطح تجمع مورفولوژیکی که در آن روابط مفید وزن/ نیتروژن به‌دست می‌آید، باشد و پاسخ‌های تنش می‌تواند تسهیم ماده خشک میان بافت‌های گیاهی را تغییر دهد و ازاین‌رو شکل منحنی‌های رقیق شدن را تحت تأثیر قرار دهد (Ata-Ul-Karim et al., 2017b).

تئوری رقیق شدن N_c هم‌چنین برای توسعه منحنی‌های رقیق شدن N_c بر مبنای شاخص‌های گیاهی (برگ، ساقه، سنبله و شاخص سطح برگ) در برنج (Yao et al., 2014a; Ata-Ul-Karim et al., 2017b)، گندم (Yao et al., 2014b; Zhao et al., 2016) و کلزای زمستانه (Colnenne et al., 1998) مورد استفاده قرار گرفته است. شکل منحنی‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف گیاهی مشابه با شکل منحنی بر مبنای کل DM گیاهی بود. توسعه منحنی‌های رقیق شدن N_c بر مبنای شاخص‌های مختلف گیاهی امکان بررسی پاسخ شاخص‌های گیاهی به کمبود یا بیش‌بود N را با جزئیات بیش‌تری فراهم می‌کند. استفاده از روابط بین شاخص‌های مختلف گیاهی و غلظت N در گیاهان زراعی به‌جای DM گیاهی مزایای بیش‌تری برای درک بهتر منحنی‌های رقیق شدن N_c در گیاهان زراعی ارائه می‌دهد (Ata-Ul-Karim et al., 2017b). بررسی‌های دقیق در مورد فرآیندهای فیزیولوژیکی تسهیم DM و توزیع N در بافت‌های مختلف گیاهی در طول دوره رشد گیاه زراعی به‌منظور آنالیز گزینه‌ها و محدودیت‌های بهبود کارایی استفاده از N و مدیریت N برای تولید حداکثر محصول ضروری به نظر می‌رسد.

رابطه قوی بین غلظت N گیاه و فعالیت‌های متابولیکی آن در طی رشد وجود دارد. فعالیت‌های متابولیکی در مراحل اولیه رشد به‌دلیل عدم وجود بخش ساختاری در سرتاسر پیکره گیاه توزیع می‌شوند، امّا با پیشرفت رشد گیاه فعالیت‌های متابولیکی به‌طور عمده در اجزاء متابولیکی (برگ‌ها) نه در جزء ساختاری (ساقه) انجام می‌شود (Justes et al., 1994)؛ بنابراین، N در گیاه در ابتدا با DM گیاهی متناسب است و پس از تغییرات تدریجی با رقیق شدن N در اجزاء متابولیکی متناسب می‌شود (Weymann et al., 2016). مطالعه اخیر نشان داد که به‌دلیل استفاده فیزیولوژیک کارآمدتر N در برگ‌ها در طول دوره رشد گیاه زراعی توسعه منحنی رقیق شدن N_c برگ می‌تواند درک بهتر و عمیق‌تری از وضعیت N گیاه زراعی ارائه دهد (Ata-Ul-Karim et al., 2017b). علاوه‌براین، روش‌های بی‌درنگ[2]

1- Critical nitrogen dilution

2- Real-time

و غیرتخریبی پایش رشد گیاه زراعی در مزرعه (مثل روش‌های سنجش از دور و عکاسی دیجیتال) به‌طور کلی روی سایه‌انداز برگ متمرکز هستند نه خود گیاهان (Rico-Garcia et al., 2009)؛ بنابراین، توسعه منحنی رقیق شدن N_c بر مبنای ماده خشک برگ (LDM[1]) برای یافتن مناسب‌ترین غلظت N برگ (LNC[2]) مورد نیاز برای بهینه‌سازی فعالیت‌های متابولیکی، رشد گیاه زراعی و هم‌چنین برای ارائه یک روش بسیار قوی برای تعیین وضعیت N گیاه زراعی ضروری است. لذا، این مطالعه با هدف توسعه منحنی رقیق شدن N_c بر مبنای LDM و بررسی قابلیت اطمینان آن در ارزیابی وضعیت تغذیه N در دو رقم کلزای بهاره (*Brassica napus* L.) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی 96-1395 در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در شهر ملاثانی اجرا شد. شهر ملاثانی در 35 کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی 31 درجه و 36 دقیقه شمالی، طول جغرافیایی 48 درجه و 53 دقیقه شرقی و ارتفاع 23 متر از سطح دریا واقع شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. میزان مصرف N خالص در هفت سطح صفر (N_0)، 50 (N_1)، 100 (N_2)، 150 (N_3)، 200 (N_4)، 250 (N_5) و 300 (N_6) کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل اصلی و دو رقم کلزای هایولا 401 و دلگان به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. بعد از انجام شخم، کود پایه مورد نیاز (100 کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) برحسب نتایج تجزیه مواد غذایی خاک مصرف شد (جدول 1). آماده‌سازی زمین با دو مرتبه دیسک عمود بر هم، ایجاد نهر و تسطیح کرت‌ها تکمیل شد. سپس، دو رقم کلزا با تراکم 250 بذر در مترمربع در تاریخ 27 آبان در کرت‌های فرعی به‌طول 2/5 متر و عرض سه متر کشت شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت کلزا معادل 25 سانتی‌متر در نظر گرفته شد و کاشت بذرها با دست در عمق یک سانتی‌متری خاک در یک بستر بذر مسطح صورت گرفت. پس از سبز شدن و استقرار گیاهچه، بوته‌های اضافی تنک و تراکم کرت‌ها معادل 80 بوته در مترمربع تنظیم شد. در هر تکرار آزمایش، بین کرت‌های فرعی یک متر و بین کرت‌های اصلی دو متر فاصله در نظر گرفته شد. کود N (از منبع اوره) مورد نیاز برای هر یک از سطوح فاکتور کودی به چهار بخش تقسیم و یک بخش از آن در مرحله دو الی سه برگی (سه دی)، دو بخش از آن قبل از شروع ساقه رفتن (25 دی) و یک بخش در مرحله شروع گل‌دهی زرد (15 بهمن) به‌روش نواری به خاک اضافه شد. آزمایش در شرایط آبیاری بهینه انجام شد، به‌طوری که در طی دوره رشد گیاه از وقوع کمبود یا بیش‌بود آب در کرت‌های آزمایشی ممانعت شد. هم‌چنین، آزمایش در شرایط عاری از تنش‌های زیستی حفظ شد. برای این منظور، علف‌های هرز در ابتدای فصل رشد گیاه زراعی در چند نوبت با وجین دستی حذف شدند. هیچ اثری از علائم بیماری‌های گیاهی در مزرعه وجود نداشت. علاوه‌براین، به‌دلیل وجود نی (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) در حاشیه مزرعه و میزبانی آن هیچ خسارتی از شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae* L.) مشاهده نشد.

اندازه‌گیری‌ها

هشت مرحله نمونه‌برداری تخریبی (S_1 تا S_8) به فاصله هفت تا 10 روز انجام شد تا تغییرات وزن خشک برگ (LDM) و غلظت نیتروژن برگ (LNC) در دو رقم کلزای مطالعه شده در طی دوره سبز شدن تا مرحله تشکیل خورجین‌ها بررسی گردد. در هر مرحله، با رعایت اثر حاشیه‌ای پنج بوته از هر کرت آزمایشی برداشت شد. بلافاصله پس از نمونه‌برداری، تعداد برگ‌های سبز و برگ‌های زرد و افتاده روی ساقه اصلی هر یک از بوته‌ها شمارش و پهنک برگ‌های سبز از دمبرگ آن جدا شد. وزن پهنک برگ‌های سبز و ساقه (ساقه + دمبرگ) به‌طور جداگانه پس از خشک شدن در آونی با دمای 80 درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. سپس، برگ‌های خشک آسیاب شدند و برای تعیین غلظت N مورد استفاده قرار گرفتند. LNC با استفاده از روش میکرو-کجلدال تعیین شد (Bremner & Mulvancy, 1982).

1- Leaf dry matter
2- Leaf nitrogen concentration

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لایه 30 سانتی‌متر بالایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the top 30-cm layer of soil at the experiment site

نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم Potassium ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی Electric conductivity ($dS.m^{-1}$)	سیلت Clay (%)	رس Silt (%)	شن Sand (%)
0.03	20.31	124.00	6.30	34	48	18

توسعه منحنی بحرانی رقیق شدن N

توسعه منحنی N_c مستلزم شناسایی نقاط بحرانی است که در آن N نه رشد را محدود می‌کند و نه افزایش می‌دهد. مقادیر N_c بر اساس روش شرح داده‌شده توسط جاستز و همکاران (Justes et al., 1994) تعیین شد. در ابتدا، نقاطی که در آن رشد گیاه زراعی توسط N محدود شد، تعیین گردید. تیمار N- محدود[1] به‌عنوان تیماری تعریف شد که در آن کاربرد مقادیر بیش‌تر N منجر بـه افـزایش معنـی‌دار LDM و LNC شد. تیمار N- غیرمحدود[2] به‌عنوان تیماری تعریف شد کـه در آن کاربرد مقادیر بـیش‌تـر N بـا افـزایش LDM همـراه نبـود، امّـا درعین‌حال LNC را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. داده‌های LDM و LNC با استفاده از نرم‌افزار SAS (version 9.2) در سـطح احتمـال پـنج درصـد تجزیـه واریـانس شـدند. مقـادیر N_c بـرای هـر تـاریخ نمونه‌برداری به‌صورت زیر محاسبه شد:

LDM و LNC مربوط به تیمارهای مصرف N با استفاده از رویه ANOVA مقایسه شدند. رابطه رگرسیون ساده خطـی بـه داده‌هـای تیمارهای N-محدود برازش داده شد (خطوط مورب). حداکثر LDM با میانگین‌گیری از مقادیر LDM تیمارهای N-غیرمحـدود محاسـبه شد (خطوط عمودی). مقدار N_c با استفاده از مختصات نقطـه تقـاطع خطوط مورب و عمودی در هر تاریخ نمونه‌برداری تعیین شد. از یـک تابع آلومتریک برای تعیین رابطه بین N_c و LDM استفاده شد.

شاخص تغذیه نیتروژنی[3] (NNI)

در هر تاریخ نمونه‌برداری، NNI برگ‌های کلزا با تقسـیم LNC مشاهده‌شده بر مقدار N_c برگ محاسبه شـد (Lemaire & Gastal, 1997):

$$NNI = \frac{LNC}{N_c} \qquad \text{معادله (1)}$$

وضعیت تغذیه N کلزای بهاره وقتی NNI=1 بود بهینه در نظـر گرفته شد. برای NNI>1، N بیش‌تر از حد مورد نیاز بوده و زمانی‌که NNI<1 باشد رشد کلزای بهاره در اثر کمبود N محدود شـده اسـت. تفـاوت میـزان NNI میـان تیمارهـای مختلـف (ΔNNI) بـه‌روش پیشنهادشده توسط عطاالکریم و همکاران (Ata-Ul-Karim et al., 2013) محاسبه شد:

$$\Delta NNI = NNI_i - NNI_{CK} \qquad \text{معادله (2)}$$

در ایـن معادلـه، NNI_i: مقـدار NNI تیمارهـای مختلـف N و NNI_{ck}: مقدار NNI کم‌ترین سطح مصرف N هستند. کمبود نیتروژن تجمعی (N_{and}) در برگ‌های کلزا در هر تاریخ نمونـه‌بـرداری بـا کـم کردن تجمع N در برگ‌ها تحت شرایط N_c (N_{cna}) از تجمع واقعی N در برگ‌ها تحت شرایط مصرف سطوح مختلف N (N_{na}) تعیـین شـد (Ata-Ul-Karim et al., 2013):

$$N_{and} = N_{na} - N_{cna} \qquad \text{معادله (3)}$$

تفاوت میزان N_{and} میان تیمارهای مختلف (ΔN_{and}) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Ata-Ul-Karim et al., 2013):

$$\Delta N_{and} = N_{and}i - N_{and}ck \qquad \text{معادله (4)}$$

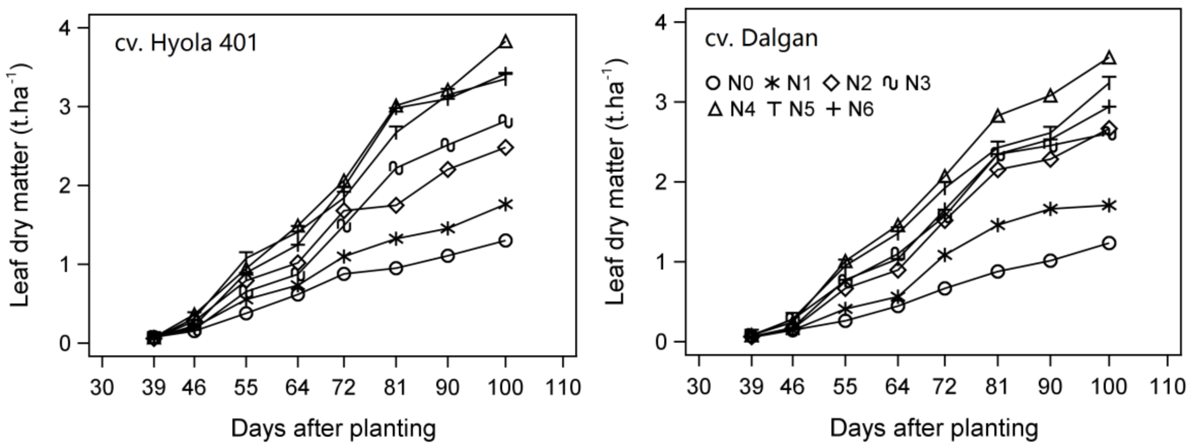
در ایـن معادلـه، $N_{and}i$: مقـدار N_{and} تیمارهـای مختلـف N و $N_{and}ck$، مقـدار N_{and} کـم‌تـرین سـطح مصـرف N هسـتند. بـرازش مدل‌های رگرسیونی به داده‌ها با نرم‌افزار SAS و رویه Nlin و رسـم گراف‌ها با استفاده از رویه Sgplot انجام شد.

نتایج و بحث

در هر دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده، LDM پـس از اسـتقرار گیاهچه در سطح خاک به‌تدریج افزایش یافت و در حدود 100 روز از کاشت به حـداکثر رسـید (شـکل 1). تیمارهـای مصـرف N بـه‌طـور معنـی‌داری LDM هـر دو رقـم کـلزای بهـاره را در طـی ایـن دوره (به‌استثنای نمونه‌برداری اول که پس از 39 روز از کاشت انجام شـد) تحت تأثیر قرار دادند. بسته به مرحله رشد کلزا، LDM رقـم هـایولا 401 از 0/06 (تیمار N_0) تا 3/83 تن در هکتار (تیمار N_4) و در رقـم

1- Nitrogen-limiting
2- Non-nitrogen-limiting
3- Nitrogen nutrition index

دلگان از 0/06 (تیمار N_0) تا 3/56 تن در هکتار (تیمار N_4) متغیر بود. در هر دو رقم کلزای مطالعه شده، LDM به‌طور معنی‌داری از تیمار N_0 تا N_4 افزایش یافت، امّا میان تیمارهای N_4، N_5 و N_6 تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. به‌طور کلی، افزایش مصرف N منجر به افزایش غلظت N برگ شد، امّا در عین‌حال LNC با افزایش LDM در طی دوره رشد کاهش یافت (شکل 2). بسته به مرحله رشد کلزا، LNC رقم هایولا 401 از 2/44 درصد (تیمار N_0) تا 6/25 درصد (تیمار N_6) و در رقم دلگان از 3/14 درصد (تیمار N_0) تا 6/15 درصد (تیمار N_5) متغیر بود.

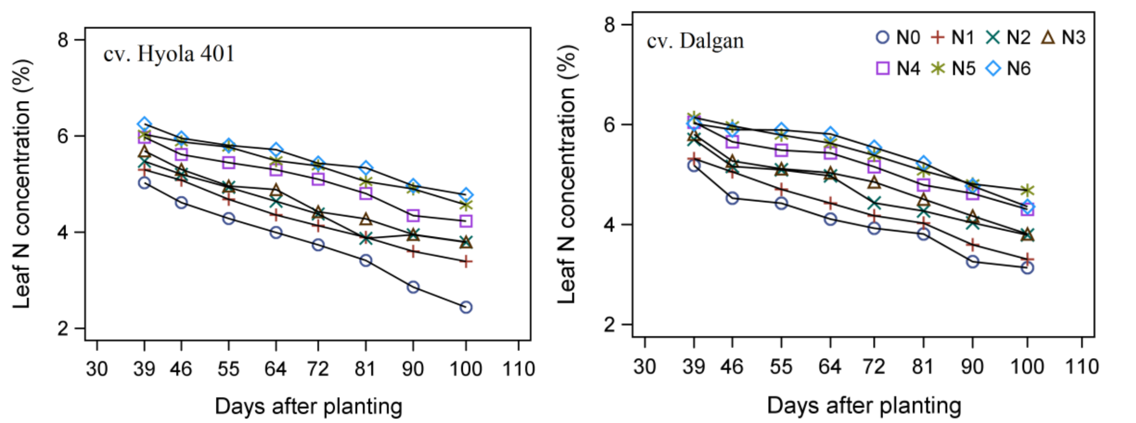


شکل 1- تغییرات ماده خشک برگ (LDM) دو رقم کلزای بهاره (دلگان و هایولا 401) با زمان تحت تیمارهای مختلف مصرف نیتروژن

Fig. 1- Changes in leaf dry matter (LDM) of two spring rapeseed cultivars (Dalgan and Hyola 401) with time under different nitrogen application treatments

نمادها مقادیر مختلف مصرف نیتروژن (0، 50، 100، 150، 200، 250 و 300 کیلوگرم در هکتار) را نشان می‌دهند.

The symbols represent different rates of nitrogen application (0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 kg.ha^{-1}).



شکل 2- تغییرات غلظت نیتروژن برگ (LNC) دو رقم کلزای بهاره (دلگان و هایولا 401) با زمان تحت تیمارهای مختلف مصرف نیتروژن

Fig. 2- Changes in leaf nitrogen concentration (LNC) of two spring rapeseed cultivars (Dalgan and Hyola 401) with time under different nitrogen application treatments

نمادها مقادیر مختلف مصرف نیتروژن (0، 50، 100، 150، 200، 250 و 300 کیلوگرم در هکتار) را نشان می‌دهند.

The symbols represent different rates of nitrogen application (0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 kg.ha^{-1})

مقادیر N_c به‌روش ارائه‌شده توسط جاستز و همکاران (Justes et al., 1994) که در شکل 3 نشان داده شده است، تعیین شد. در هر دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده، داده‌های مربوط به همه تاریخ‌های نمونه‌برداری به‌استثنای نمونه‌برداری اول که پس از 39 روز از کاشت

انجام گرفته بود، جهت تعیین مقادیر N_c استفاده شد. N_c برای هر یک از این مراحل به‌عنوان عرض از مبدأ بین خطوط مورب و عمودی برازش داده‌شده به داده‌ها تعیین گردید. داده‌های LDM مربوط به نمونه‌برداری اول اختلاف معنی‌داری میان سطوح مصرف N نشان ندادند. لذا، رویکردی مشابه با یائو و همکاران (Yao et al., 2014b) برای تعیین مقدار N_c مربوط به این تاریخ نمونه‌برداری اتخاذ شد. به این صورت که مقدار متوسط بین حداقل غلظت N تیمارهای N- غیرمحدود و حداکثر غلظت N تیمارهای N- محدود به‌عنوان مقدار N_c در نظر گرفته شد. در هر دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده، مقادیر N_c روندی نزولی در پاسخ به افزایش LDM بحرانی نشان دادند که با استفاده از روابط 5 (برای رقم دلگان) و 6 (برای رقم هایولا 401) توصیف شد (شکل 3):

$$N_c = 5.06LDM^{-0.06}$$ معادله (5)

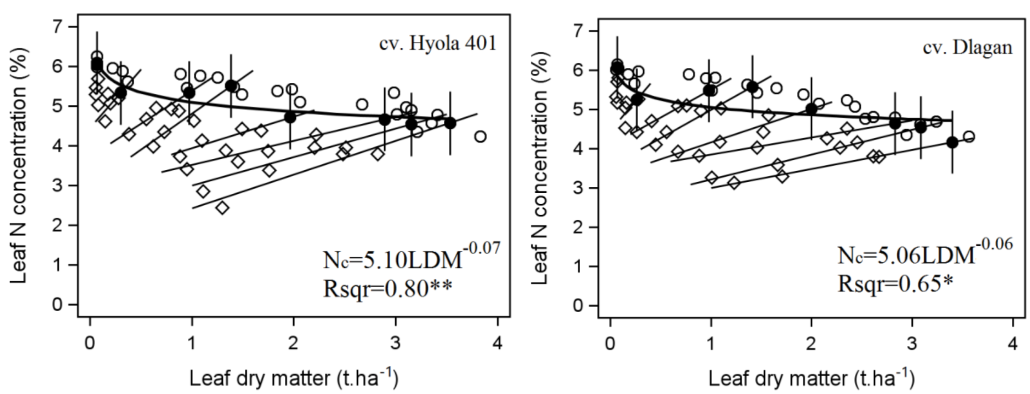
$$N_c = 5.10LDM^{-0.07}$$ معادله (6)

مقادیر خطای استاندارد برآورد پارامترها نشان داد که بین منحنی‌های رقیق شدن N_c دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بنابراین، داده‌های هر دو رقم ادغام شد و منحنی N_c واحدی مطابق با تابع زیر برازش داده شد (شکل 4):

$$N_c = 5.08LDM^{-0.06}$$ معادله (7)

ضریب تبیین (R^2) این منحنی 0/66 و تجزیه واریانس رگرسیون مربوط به آن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

تغذیه N وقتی NNI= 1 است بهینه فرض می‌شود، درحالی‌که NNI> 1 مصرف لوکس N و NNI< 1 کمبود N را نشان می‌دهد. NNI می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای کمّی‌سازی شدت تنش N پس از شروع کمبود N استفاده شود. تفاوت‌های زیادی میان تیمارهای مصرف N و بین دو رقم مطالعه شده در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری از نظر NNI محاسبه‌شده وجود داشت (شکل 5). NNI با افزایش میزان مصرف N افزایش یافت و بسته به تاریخ نمونه‌برداری دامنه‌ای از 0/72 تا 1/14 و 0/53 تا 1/15 را به‌ترتیب برای رقم دلگان و هایولا 401 شامل شد. مقادیر NNI برای تیمارهای N_0، N_1، N_2 و N_3 در همه تاریخ‌های نمونه‌برداری کم‌تر از یک، برای تیمار N_4 تقریباً برابر یک و برای N_5 و N_6 تا حدودی بزرگ‌تر از یک بود. NNI با افزایش سن گیاه و پیشرفت به‌سوی تشکیل خورجین‌ها در تیمارهای N- محدود به‌طور شدیدتری کاهش یافت. هرچند در رقم هایولا 401 این کاهش در تیمار N_4 نیز مشاهده شد. این نتایج اعتبار استفاده از شاخص NNI برای تشخیص وضعیت تغذیه N گیاه کلزای بهاره را تأیید می‌کند.

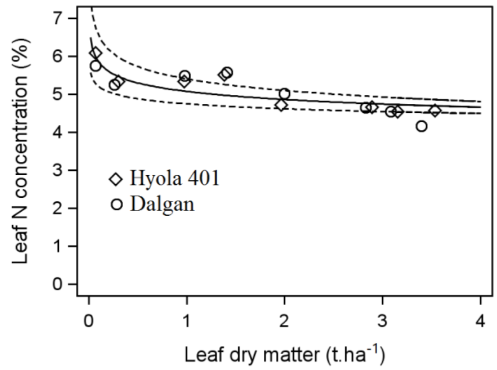


شکل 3- مقادیر نیتروژن بحرانی (N_c) مورد استفاده جهت توسعه منحنی‌های رقیق شدن نیتروژن بحرانی برای رقم دلگان و هایولا 401

Fig. 3- Critical nitrogen (N_c) values used to develop the N_c dilution curves for the Dalgan and Hyola 401 cultivars

نمادهای لوزی (◊) و دایره توخالی (○) به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمارهای نیتروژن- محدود و نیتروژن- غیرمحدود را نشان می‌دهند. نماد دایره توپر (●) مقادیر نیتروژن بحرانی محاسبه‌شده برای هر تاریخ نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

The diamond (◊) and circle (○) symbols represent the values measured in the nitrogen-limiting and non-nitrogen-limiting treatments, respectively. The Circlefilled symbol (●) shows the calculated N_c points for each sampling date.



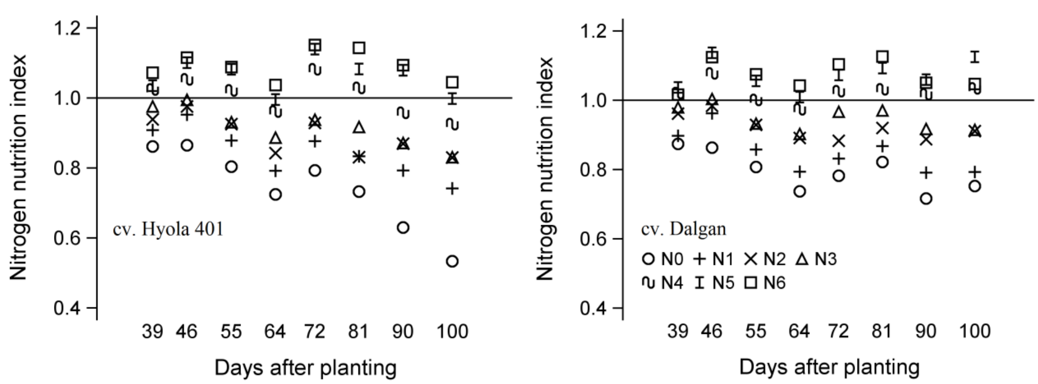
شکل 4- مقادیر نیتروژن بحرانی (N_c) مورد استفاده جهت تعریف منحنی رقیق شدن نیتروژن بحرانی دو رقم کلزا

Fig. 4- Critical nitrogen (N_c) values used to define the critical nitrogen dilution curve

خط ممتد نشان‌دهنده منحنی رقیق شدن نیتروژن بحرانی است که رابطه بین غلظت بحرانی نیتروژن و ماده خشک برگ کلزای بهاره را توصیف می‌کند. خطهای بریده حدود اطمینان را نشان می‌دهند (P= 0.95).

The solid line represents the critical nitrogen dilution curve, which describes the relationship between the critical concentration of nitrogen and the leaf dry matter of spring rapeseed. The dashed lines represent the confidence band (P= 0.95).

در هر دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده و در همه تاریخ‌های نمونه‌برداری، اختلاف میزان مصرف N (ΔN) همبستگی مثبت معنی‌داری با تغییرات NNI (ΔNNI) نشان داد (شکل 6). این رابطه در هر دو رقم با زمان (روز پس از کاشت؛ DAP) تغییر کرد. بنابراین، برای هر رقم تغییرات ΔN را می‌توان با استفاده از معادله $\Delta N=A\times\Delta NNI+B$ توصیف کرد و تغییرات پارامترهای این رابطه (A و B) با گذشت زمان از کاشت را با استفاده از روابط مناسب دیگری کمّی‌سازی نمود. بر این اساس، ضریب A برای هر روز از کاشت در رقم دلگان با رابطه $A= 0.23DAP^2-44.13DAP+2872$ (با R^2= 0.90) و برای رقم هایولا 401 با استفاده از رابطه $A= 0.36DAP^2-61.96DAP+3390$ (با R^2= 0.97) توصیف شد. ضریب B برای رقم دلگان به‌صورت $B= 0.01DAP^2-0.68DAP-8.38$ (با R^2= 0.52) و برای رقم هایولا 401 به‌صورت $B= -0.08DAP^2+9.98DAP-316.40$ (با R^2= 0.74) تعریف شد. بر اساس این ΔN، امکان تصحیح و توصیه N کودی مورد نیاز در هر روز از چرخه رشد جهت مدیریت دقیق نیتروژن در کلزای بهاره امکان‌پذیر است.

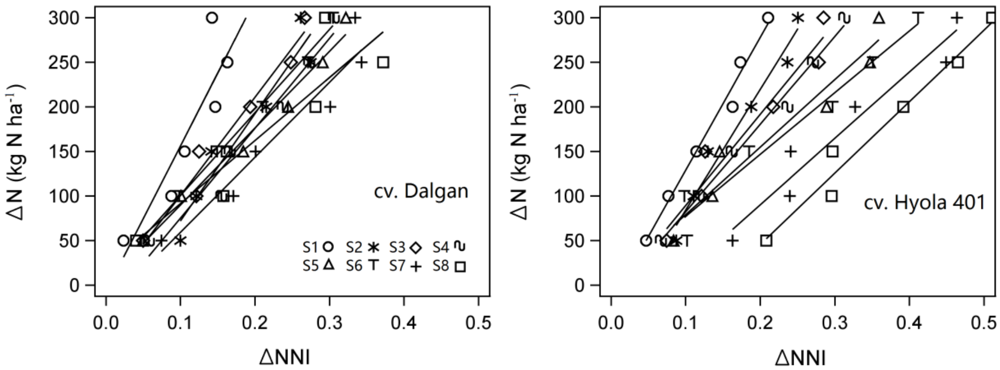


شکل 5- تغییرات شاخص تغذیه نیتروژنی (NNI) با زمان (روز پس از کاشت) در برگ‌های دو رقم کلزای مطالعه شده تحت شرایط مصرف مقادیر مختلف نیتروژن

Fig. 5- Changes of nitrogen nutrition index (NNI) with time (days after planting) for leaves of two spring rapeseed cultivars studied under different nitrogen application rates

نمادها مقادیر مختلف مصرف نیتروژن (0، 50، 100، 150، 200، 250 و 300 کیلوگرم در هکتار) را نشان می‌دهند.

The symbols represent different rates of nitrogen application (0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 kg.ha^{-1})



شکل 6- رابطه بین تغییرات شاخص تغذیه نیتروژنی (ΔNNI) و تغییرات میزان مصرف نیتروژن (ΔN) در طی دوره رشد دو رقم کلزای بهاره

Fig. 6- Relationship between changes of nitrogen nutrition index (ΔNNI) and changes of nitrogen application rates (ΔN) during the growing season of two spring rapeseed cultivars

نمادها نمونه‌برداری تخریبی انجام‌شده در طی چرخه رشد را نشان می‌دهند

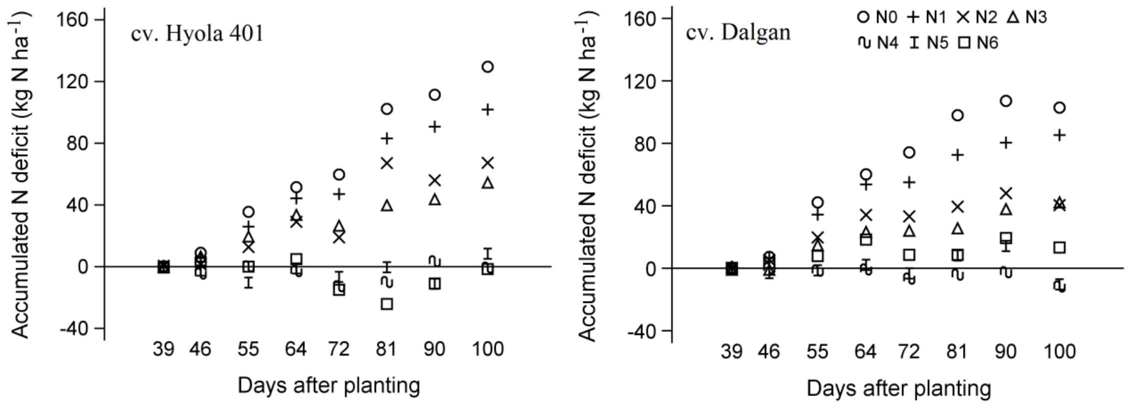
The symbols represent the destructive sampling performed during the growth cycle

تغذیه N وقتی $N_{and}=0$ است بهینه فرض می‌شود، درحالی‌که $N_{and}>0$ کمبود N و $N_{and}<0$ مصرف تجملی N را نشان می‌دهد. میان تیمارهای مصرف N و بین دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای ازنظر N_{and} محاسبه‌شده در روزهای پس از کاشت وجود داشت (شکل 7). مقادیر N_{and} بسته به‌میزان مصرف N و تاریخ نمونه‌برداری در رقم دلگان بین 11/61- و 107/09 کیلوگرم N در هکتار و در رقم هایولا 401 بین 24/22- و 129/64 کیلوگرم N در هکتار متغیر بود. N_{and} با کاهش میزان مصرف N افزایش یافت. این افزایش با پیشرفت مراحل نموی گیاه به‌تدریج تشدید شد و برای تیمارهای N- محدود (N_0، N_1، N_2 و N_3) در مرحله تشکیل خورجین‌ها به حداکثر رسید. این نتایج سودمندی N_{and} جهت ارزیابی وضعیت تغذیه N در کلزای بهاره را تأیید می‌کند. در هر دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده، بین اختلاف میزان مصرف N (ΔN) و تغییرات N_{and} (ΔN_{and}) همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت (شکل 8). میزان این همبستگی با زمان از کاشت تغییر کرد. بنابراین، برای هر رقم تغییرات ΔN را می‌توان با استفاده از معادله $\Delta N= A\times\Delta N_{and}+B$ توصیف کرد و تغییرات پارامترهای این رابطه (A و B) با گذشت زمان از کاشت را با استفاده از روابط مناسب دیگری کمّی‌سازی نمود. بر این اساس، ضریب A برای هر روز از کاشت در رقم دلگان با رابطه $A= -0.007DAP^2+1.21DAP-52.86$ (با $R^2=$ 0.87) و برای رقم هایولا 401 با استفاده از رابطه $A= -0.003DAP^2+0.67DAP-31.91$ (با $R^2=0.98$) توصیف شد. ضریب B برای رقم دلگان به‌صورت $B= 0.09DAP^2-14.98DAP+584$ (با $R^2=0.91$) و برای رقم هایولا 401 به‌صورت $B= 0.06DAP^2-10.81DAP+469.40$ (با $R^2=0.87$) تعریف شد. این روابط امکان مدیریت دقیق نیتروژن در طی فصل رشد کلزای بهاره را میسر می‌سازد.

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق از مفهوم رقیق شدن N بحرانی در برگ‌ها حمایت می‌کند. این مفهوم ابتدا توسط گرین‌وود و همکاران (Greenwood et al., 1990) برای گونه‌های علفی یک‌ساله توسعه یافت و سپس به گیاهان زراعی دیگر تعمیم داده شد. در مطالعه ما، با افزایش LDM کاهش LNC یافت و منحنی N_c برگ به‌خوبی با استفاده از تابع توانی منفی توصیف شد. در یک LDM ثابت تنوع قابل‌توجهی در میزان LNC در طی زمان وجود داشت. تنوع غلظت N برگ در طی فصل رشد کلزای بهاره در این مطالعه با گزارش‌های قبلی بر روی گندم (Yao et al., 2014b) و برنج (Ata-Ul-Karim et al., 2013) مطابقت دارد و این تنوع را می‌توان به‌طور عمده به تغییر نسبت برگ به بخش هوایی و خود سایه‌اندازی برگ‌ها در طول فصل رشد نسبت داد (Colnenne et al., 1998). منحنی حد بالایی (N_{max}) و پایینی (N_{min}) غلظت N برگ با استفاده از روابط زیر توصیف شد:

معادله (8) $$N_{max} = 5.45 LDM^{-0.05}$$

معادله (9) $$N_{min} = 3.39 LDM^{-0.17}$$

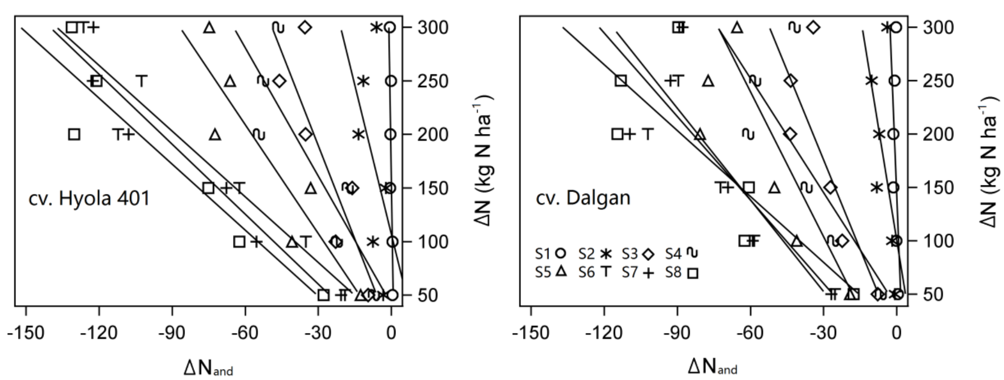


شکل 7- تغییرات کمبود نیتروژن تجمعی (N_{and}) با زمان (روز پس از کاشت) در برگ‌های دو رقم کلزای مطالعه شده تحت شرایط مصرف مقادیر مختلف نیتروژن

Fig. 7- Changes of accumulated nitrogen deficit (N_{and}) with time (days after planting) for leaves of two spring rapeseed cultivars studied under different nitrogen application rates

نمادها مقادیر مختلف مصرف نیتروژن (0، 50، 100، 150، 200، 250 و 300 کیلوگرم در هکتار) را نشان می‌دهند.

The symbols represent different rates of nitrogen application (0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 kg.ha^{-1}).



شکل 8- رابطه بین تفاوت میزان کمبود نیتروژن تجمعی (ΔN_{and}) و تفاوت میزان مصرف نیتروژن (ΔN) در طی دوره رشد دو رقم کلزای بهاره

Fig. 8- Relationship between difference value of accumulated nitrogen deficit (ΔN_{and}) and difference value of nitrogen application rates (ΔN) during the growing season of two spring rapeseed cultivars

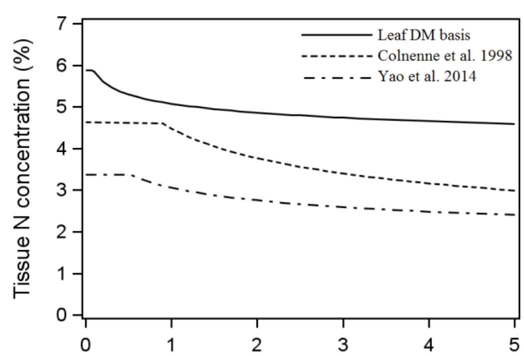
نمادها نمونه‌برداری تخریبی انجام‌شده در طی چرخه رشد را نشان می‌دهند

The symbols represent the destructive sampling performed during the growth cycle

منحنی N_{max} از تیمارهای N- غیرمحدود به‌دست آمد که در این تیمارها میزان رشد و جذب N توسط کلزای بهاره حداکثر بود. این منحنی حداکثر ظرفیت جذب N توسط برگ‌ها را نشان می‌دهد. در این شرایط، میزان جذب N توسط مکانیسم‌هایی تنظیم می‌شود که به‌طور مستقیم با رشد و به‌طور غیرمستقیم با متابولیسم N در ارتباط هستند (Gayler et al., 2002). منحنی N_{max} نشان داد که در تیمارهای N_5 و N_6 مصرف لوکس نیتروژن وجود داشت؛ یعنی زمانی‌که غلظت N برگ بالاتر از منحنی رقیق شدن N_c بود افزایشی در LDM مشاهده نشد. در زیر منحنی N_{max} و بالای منحنی رقیق شدن N_c برگ، جذب نیتروژن برگ توسط میزان دسترسی به N معدنی تعیین می‌شود و مستقل از سرعت رشد برگ است (Yao et al., 2014b). در سطح زیر منحنی رقیق شدن N_c برگ، جذب N توسط میزان N معدنی در دسترس در خاک محدود می‌شود و به نوبه خود سرعت رشد گیاه زراعی را تعیین می‌کند (Justes et al., 1994; Ata-Ul-Karim et al., 2013; Yao et al., 2014a). منحنی N_{min} برآوردی از غلظت N برگ کلزای بهاره در تیمار N_0 است. در این

تیمار، تنش کمبود N در مراحل اولیه چرخه رشد کلزا مشـهود نبـود. این موضوع ممکن است به‌دلیل تقاضای کم N درنتیجه رشد آهسـته گیاه باشد. پارامتر b تابع توانی کاهش LNC با رشد گیـاه زراعـی را توصیف می‌کند و بنابراین، به نسبت جذب N برگ به تجمـع LDM بستگی دارد. مقدار بالاتر پارامتر b منحنـی N_{min} (0/17) نسـبت بـه منحنی N_{max} (0/05) نشان داد که رقیق شدن N برگ تحت شرایط N- محدود محسوس‌تر از شرایط N- غیرمحدود بود. در شرایط N- محدود، نیاز N گیاه زراعی با N موجود در خاک مطابقت نداشت کـه این موضوع می‌توانست منجر به کاهش سریع LNC شود.

منحنی رقیق شدن N_c که در این مطالعه بـرای دو رقـم کلـزای بهاره تعیین شد (a_c= 5.08) از منحنی مرجع مبتنی بر DM برگ که توسط یائو و همکاران (Yao et al., 2014b) بـرای گنـدم زمسـتانه (a_c= 3.06) گزارش شده است، بالاتر بود (شکل 9). اختلاف بین این دو منحنی N_c برگ را می‌توان با تفاوت‌های موجود بـین دو گونـه از نظر ظرفیت جذب و استفاده از N (Lemaire et al., 2007) توضـیح داد. علاوه‌براین، منحنی رقیق شدن N_c توسعه یافته در ایـن مطالعـه متفاوت از منحنـی مرجـع گـزارش شـده توسـط کلـنن و همکـاران (Colnenne et al., 1998) برای کلزای زمستانه بود (شکل 9). کلنن و همکاران (Colnenne et al., 1998) منحنی N_c کلزای زمستانه را بر اسـاس کـل DM گیـاهی بـه‌صـورت رابطـه N_c= 4.48$DM^{-0.25}$ تعریف کردند. صرف نظر از بی‌شباهتی‌هـا از نظـر نـوع رقـم و تیـپ رشدی آن و شرایط محیطی محل اجرای آزمایش، کاهش غلظـت N بخـش هـوایی بـا افـزایش DM در کلـزای زمسـتانه (b= 0.25) (Colnenne et al., 1998) خیلی بیش‌تر از کاهش غلظت N برگ با افزایش LDM در دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده در اینجا بود (b= 0.06). واضح است که برگ‌ها فعال‌ترین بافت گیاهی ازنظر متابولیکی (فتوسنتز، تنفس و تعرق) هستند و از این‌رو غنی از N بوده و کاهش غلظت N در آن‌ها به‌کندی صورت می‌گیرد. ریزش برگ‌های مسن و انتقال مجدد N به بافت‌های جوان‌تر منجر به حفظ مقادیر بـالاتر N در برگ‌ها خواهد شد. علاوه‌براین، با رشد طـولی سـاقه نسـبت DM ساختاری و غیرفتوسنتزی که دارای غلظت N کمی هستند، افـزایش می‌یابد که برآیند این‌ها منجر به کاهش شـدیدتر غلظـت N بخـش هوایی نسبت به برگ می‌شود. مشابه با نتایج به‌دست آمده در اینجـا، کاهش غلظت N برگ در منحنی رقیق شـدن N_c یـائو و همکـاران (Yao et al., 2014b) بسیار کم‌تر از کـاهش غلظـت N کـل DM گیاهی در منحنی N_c ارائه شده توسط جاستز و همکاران (Justes et al., 1994) برای گندم زمستانه (b= 0.44) بود.



شکل 9- مقایسه منحنی‌های رقیق شدن نیتروژن بحرانی (N_c)

Fig. 9- Comparison of different critical nitrogen (N_c) dilution curves

خط بریده منحنی رقیق شدن N_c توسعه‌یافته توسط کلنن و همکاران (Colnenne et al., 1998) بر مبنای ماده خشک کل گیاهی در کلزای زمستانه ($N_c = 4.48W^{-0.25}$) و خط بریده- نقطه منحنی رقیق شدن N_c توسعه‌یافته توسط یائو و همکاران (Yao et al., 2014b) بر مبنای ماده خشک برگ برای گندم زمستانه ($N_c = 3.06W^{-0.15}$)، خط ممتد منحنی رقیق شدن N_c مطالعه فعلی بر مبنای ماده خشک برگ برای کلزای بهاره ($N_c = 5.08W^{-0.06}$) را نشان می‌دهد.

The dashed line represents the N_c dilution curve developed by Colnenne et al. (1998) on plant dry matter basis for winter rapeseed ($N_c = 4.48W^{-0.25}$), and the dashed-dotted line represents the N_c dilution curve developed by Yao et al. (2014b) on leaf dry matter basis for winter wheat ($N_c = 3.06W^{-0.15}$). The solid line represents the N_c dilution curve of present study on leaf dry matter basis in spring rapeseed ($N_c = 5.08W^{-0.06}$).

تشخیص وضعیت تغذیه N گیاه زراعی در مزرعه مهم‌ترین کاربرد منحنی رقیق شدن N_c است. منحنی رقیق شدن N_c می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تحلیلی جهت مدیریت ایده‌آل N ازنظر جنبه‌های اقتصادی و سازگاری با محیط‌زیست در تولید کلزای بهاره مورد استفاده قرار گیرد. این منحنی می‌تواند به تصمیم‌گیری در مورد ضرورت یا عدم ضرورت مصرف کود N بیش‌تر برای افزایش محتوای N برگ در هر مرحله از رشد گیاه زراعی کمک نماید. برای این منظور، مقادیر بهینه NNI و N_{and} بایستی برای مراحل کلیدی رشد گیاه زراعی تعیین شود و مدیریت دقیق N بر اساس این معیارها انجام گیرد. هر دو شاخص NNI و N_{and} به‌خوبی وضعیت تغذیه N کلزای بهاره را تعیین کردند. پاسخ‌های مشابهی برای NNI و N_{and} در گیاهان زراعی دیگر مثل گندم بهاره (Ziadi et al., 2010)، گندم زمستانه (Yao et al., 2014b)، ذرت (Zhao et al., 2017) و برنج ژاپونیکا (Yao et al., 2014a) گزارش شده است که نشان می‌دهد NNI و N_{and} می‌توانند به‌عنوان یک روش مرجع برای تشخیص کمبود N استفاده شوند.

نتیجه‌گیری

غلظت N برگ‌های سایه‌انداز گیاهی هر دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده با افزایش سن گیاه کاهش یافت. کاربرد مقادیر بیش‌تر N منجر به افزایش غلظت N برگ‌ها شد. منحنی رقیق شدن N_c کلزای بهاره بر مبنای DM برگ توسعه یافت و با رابطه $N_c = 5.08 LDM^{-0.06}$ توصیف شد. این منحنی بالاتر از منحنی مرجع کلزای زمستانه بر مبنای کل DM گیاهی بود. مقادیر NNI و N_{amd} در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری برای شرایط کمبود N کوچک‌تر از یک و بزرگ‌تر از صفر و برای شرایط مصرف لوکس N بزرگ‌تر از یک و کوچک‌تر از صفر بود. با استفاده از روابط به‌دست آمده از بررسی تغییرات ΔN در برابر تغییرات NNI و N_{amd} می‌توان به توصیه N کودی مورد نیاز در طی فصل رشد اقدام کرد.

References

Ata-Ul-Karim, S.T., Xia, Y., Liu, X.J., Cao, W.X., and Zhu, Y., 2013. Development of critical nitrogen dilution curve of Japonica rice in Yangtze River Reaches. Field Crops Research 149: 149–158.

Ata-Ul-Karim, S.T., Cao, Q., Zhu, Y., Tang, L., Rehmani, M.I.A., and Cao, W., 2016. Nondestructive assessment of plant nitrogen parameters using leaf chlorophyll measurements in rice. Frontiers in Plant Science 7: 1829.

Ata-Ul-Karim, S.T., Zhu, Y., Lu, X.J., Cao, Q., Tian, Y.C., and Cao, W., 2017a. Estimation of nitrogen fertilizer requirement for rice crop using critical nitrogen dilution curve. Field Crops Research 201: 32–40.

Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, X., Lu, Z., Zheng, H., Cao, W., and Zhu, Y., 2017b. Comparison of different critical nitrogen dilution curves for nitrogen diagnosis in rice. Scientific Reports 7: 42679.

Bremner, J.M., and Mulvancy, C.S., 1982. Nitrogen-total. In: A.L. Page (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI. p. 595–624.

Colnenne, C., Meynard, J.M., Reau, R., Justes, E., and Merrien, A., 1998. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. Annals of Botany 81: 311–317.

Fitzgerald, G., Rodriguez, D., and O'Leary, G., 2010. Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index-the canopy chlorophyll content index (CCCI). Field Crops Research 116: 318–324.

Gayler, S., Wang, E., Priesack, E., Schaaf, T., and Maidl, F.X., 2002. Modeling biomass growth, N uptake and physiological development of potato crop. Geoderma 105: 367–383.

Greenwood, D.J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., and Neeteson, J.J., 1990. Decline in percentage N of C_3 and C_4 crops with increasing plant mass. Annals of Botany 66: 425–436.

Justes, E., Mary, B., and Machet, J.M., 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. Annals of Botany 74: 397–407.

Lemaire, G., and Gastal, F., 1997. Nitrogen uptake and distribution in plant canopie. In G. Lemaire (Ed.). Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops. Springer-Verlag Publishers, Heidelberg. p. 3–43.

Lemaire, G., van Oosterom, E., Sheehy, J., Jeuffroy, M.H., Massignam, A., and Rossato, L., 2007. Is crop demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? Field Crops Research 100: 91–106.

Miranzadeh, M.B., Heidari, M., Dehghan, S., and Hasanzadeh, M., 2010. An overview of nitrate in drinking water and its health effect with emphasis on its carcinogenic risk in human. Health System Research 6: 1057–1071. (In Persian with English Summary)

Rico-Garcia, E., Hernandez, F., Soto-Zarazua, G., and Herrera-Ruiz, G., 2009. Two new methods for the estimation of leaf area using digital photography. International Journal of Agriculture and Biology 11: 397–400.

Schlemmer, M., Gitelson, A., Schepers, J., Ferguson, R., Peng, Y., Shanahan, J., and Rundquist, D., 2013. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 25: 47–54.

Sinclair, T.R., and Horie, T., 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: a review. Crop Science 29: 90–98.

Weymann, W., Sieling, K., and Kage, H., 2016. Organ-specific approaches describing crop growth of winter oilseed rape under optimal and N-limited conditions. European Journal of Agronomy 82: 71–79.

Xu, G.H., Fang, X.R., and Miller, A.J., 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. Annual Review of Plant Biology 63: 153–182.

Yao, X., Ata-Ul-Karim, S.T., Zhu, Y., Tian, Y., Liu, X., and Cao, W., 2014a. Development of critical nitrogen dilution curve in rice based on leaf dry matter. European Journal of Agronomy 55: 20–28.

Yao, X., Zhao, B., Tian, Y.C., Liu, X.J., Ni, J., Cao, W.X., and Zhu, Y., 2014b. Using leaf dry matter to quantify the critical nitrogen dilution curve for winter wheat cultivated in eastern China. Field Crops Research 159: 33–42.

Yue, S.C., Meng, Q.F., Zhao, R.F., Li, F., Chen, X.P., Zhang, F.S., and Cui, Z.L., 2012. Critical nitrogen dilution curve for optimizing nitrogen management of winter wheat production in the North China Plain. Agronomy Journal 104: 523–529.

Zhao, B., Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, Z., Ning, D., Xiao, J., Liu, Z., Qin, A., Nan, J., and Duan, A., 2017. Development of a critical nitrogen dilution curve based on leaf dry matter for summer maize. Field Crops Research 208: 60–68.

Zhao, B., Liu, Z.D., Ata-Ul-Karim, S.T., Xiao, J.F., Liu, Z.G., and Qi, A.Z., 2016. Rapid and nondestructive estimation of the nitrogen nutrition index in winter barley using chlorophyll measurements. Field Crops Research 185: 59–68.

Zhao, S., Qiu, S., Cao, C., Zheng, C., Zhou, W., and He, P., 2014. Responses of soil properties, microbial community and crop yields to various rates of nitrogen fertilization in a wheat-maize cropping system in north-central China. Agriculture, Ecosystems and Environment 194: 29–37.

Zhao, B., 2014. Determining of a critical dilution curve for plant nitrogen concentration in winter barley. Field Crops Research 160: 224–234.

Ziadi, N., Bélanger, G., Claessens, A., Lefebvre, L., Cambouris, A.N., Tremblay, N., Nolin, M.C., and Parent, L.É., 2010. Determination of a critical nitrogen dilution curve for spring wheat. Agronomy Journal 102: 241–250.

Ziadi, N., Brassard, M., Bélanger, G., Claessens, A., Tremblay, N., Cambouris, A., Nolin, M., and Parent, L.E., 2008. Chlorophyll measurements and nitrogen nutrition index for the evaluation of corn nitrogen status. Agronomy Journal 100: 271–273.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1343-1356

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 4، زمستان 1398، ص 1356-1343

Development of a Critical Nitrogen Dilution Curve Based on Leaf Dry Matter for Two Spring Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars

S.A. Siadat[1*] and A. Derakhshan[2]
Submitted: 22-05-2018
Accepted: 08-10-2018

Siadat, S.A., and Derakhshan, A. 2020. Development of a critical nitrogen dilution curve based on leaf dry matter for two spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Journal of Agroecology. 11 (4): 1343-1356.

Introduction
Supplementing crop growth with nitrogen (N) can significantly increase yields. However, the excessive use of N in intensive cropping systems has led to lower N use efficiency, an increase in greenhouse gas emissions as well as water pollution. The critical N concentration (N_c) is the minimum N required for maximal growth and can be used as a tool for accurate N management during the growing season. Leaf dry matter (LDM) is an important indicator of crop growth potential and a measure of light-energy utilization, and yield formation in rapeseed. LDM increases as more N fertilizer is applied, although differences in LDM are small under high fertilization levels. Therefore, construction of a N_c curve based on LDM during the vegetative growth of spring rapeseed would be a worthwhile objective. Our aims in the present study were (i) to construct a leaf N_c curve, (ii) to compare this curve with published data, and (iii) to explore its potential for estimating spring rapeseed leaf N status.

Materials and Methods
A field experiment with seven levels of N fertilizer including 0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 $kg.ha^{-1}$ was performed, and LDM and leaf N concentration (LNC) of two spring rapeseed cultivars were measured during the growing season. The procedure used for constructing the leaf N_c curve was first proposed by Justes et al. (1994). The N nutrition index (NNI) on each sampling date was calculated by dividing LNC by leaf N_c concentration. The accumulated N deficit (N_{and}) in leaves for each sampling date was determined by subtracting the N accumulation in leaves under the N_c condition from actual N accumulation in leaves under different N rates.

Results and Discussion
N application rate exhibited a significant effect on LDM during the vegetative growth of rapeseed. The LDM increased gradually with increasing N utilization. LDM ranged from 0.06-3.83 $ton.ha^{-1}$ for Hyola 401 cv. and from 0.06-3.56 $ton.ha^{-1}$ for Dalgan cv. LNC generally increased with increasing N application. LNC remained relatively stable during the early growth but decreased gradually as cultivars reached the flowering stage. LNC values ranged from 2.44-6.2% for Hyola 401 cv. and from 3.14-6.1% for Dalgan cv. The leaf N_c concentrations in Hyola 401 and Dalgan cultivars declined with increasing LDM and the curve for these cultivars was fitted according to the equation $N_c=5.08LDM^{-0.06}$. The similar trends of decline in leaf N dilution have been previously reported in winter wheat, maize and rice, when N dilution was estimated on the whole plant or specific plant organs basis. NNI values began to decrease with the decrease in the quantity of applied N. NNI values varied from 0.72-1.14 in the Dalgan cv. and from 0.53-1.15 in the Hyola 401 cv. The NNI values were greater than one for non-N limiting treatments and less than one for N-limiting treatments. These results confirm that NNI can provide accurate and quantitative insight into the N nutrition status of rapeseed. The N_{and} values ranged between -11.61-107.09 kg N ha^{-1} in the Dalgan cv. and between -24.22-129.64 for the Hyola 401 cv. depending on the N dosage. N_{and} decreased with increased N rates, while intensified gradually over growth progress of rapeseed and reached its peak at flowering stage for N-limiting treatments. These results confirmed the usefulness of N_{and} for assessing N nutrition in spring rapeseed. There was a significant positive correlation between the changes in N application rates (ΔN) and the changes in NNI (ΔNNI), and between ΔN and the changes in N_{and} (ΔN_{and}). Generally, the N_c dilution curve, NNI, and N_{and} derived from it well recognized nutrition status of two cultivars under N-limiting and non-N limiting conditions, and can be used to as a reliable indicator of the crop N status during the growing season.

1 and 2- Professor and Ph.D. in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: seyedatasiadat@asnrukh.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.72921

Conclusion

The N concentration in the canopy leaves decreased with advancing maturity, while a higher N application rate generally exhibited a higher leaf N concentration. The present N_c dilution curve based on LDM provides an insight into N nutrition status in spring rapeseed plant and can serve as a novel tool to improve N fertilization management in rapeseed.

Keywords: Critical nitrogen, Nitrogen deficiency, Nitrogen nutrition index, Nitrogen use optimization, Precise nitrogen management